

# 共進化による協調—ロボカップにおける協調行動の獲得—

## Cooperation by Co-evolution —Cooperative Behavior Acquisition in RoboCup Initiative—

内部 英治      中村 理輝      浅田 稔

Eiji Uchibe      Masateru Nakamura      Minoru Asada

大阪大学大学院 工学研究科 知能機能創成工学専攻

Graduate School of Eng., Dept. of Adaptive Machine Systems, Osaka University

**Abstract:** Co-evolution has been receiving increased attention as a method for multi agent simultaneous learning. This paper discusses how multiple robots can emerge cooperative behaviors through co-evolutionary processes. As an example task, a simplified soccer game with three learning robots is selected and a genetic programming method is applied to individual population corresponding to each robot. The complexity of the problem can be explained twofold: co-evolution for cooperative behaviors needs exact synchronization of mutual evolutions, and three robot co-evolution requires well-complicated environment setups that may gradually change from simpler to more complicated situations. Simulation results are shown, and a discussion is given.

## 1 はじめに

近年、マルチエージェント環境において、複数ロボットを同時に学習させるための方法論として共進化現象が注目されている。従来の共進化に関する研究は2台のロボット間の競合タスクが多かった。Cliff and Miller [1] や Floreano and Nolfi [2] は獲物と捕食者という二者の適合度が競合する問題について、共進化現象を解析した。また、Luke et al. [3] は、サッカーゲームにおいて共進化のアプローチを適用し、複数ロボットの協調行動を実現した。しかし、彼らはチームを一つの個体として扱い、個体間の関係は競合であった。

しかし、一般のロボット間には、競合だけでなく協調や無視といった関係も存在し、様々な関係が共進化の過程を通してどのように獲得されるかを議論する必要がある。ここでは、タスクとして競合や協調問題を含んだ単純化したサッカーゲームを扱う。各ロボットに遺伝的プログラミングを別々に適用し、適合度関数や初期条件を設定することで、協調行動が獲得できることをシミュレーション結果によって示し、各ロボットを適切に共進化させるための条件について考察する。

## 2 協調タスクにおける共進化

共進化は、膨大な探索領域の中から適切な戦略を発見することができる方法として、近年注目されている。一般に、共進化のパターンは

1. 現在の他者の戦略にだけ対処できる行動政策を獲得し、それ以外の戦略には対処できない。
2. 一部のロボットの戦略だけが改善され、それ以外は低い評価に収束する。
3. 各ロボットが戦略を改善するとき、互いの学習を効率よく達成するため、その過程が同期している。

に分類することができる。

複数ロボットを共進化させる場合、3番目のパターンが期待されるが、多くの場合は1,2のパターンであり、3番目を実現するためには、適切な適合度関数と適度なタスクの複雑さが必要になる。しかし、一般的な適合度関数とタスクの複雑さが共進化に及ぼす影響を議論するのは困難であるため、特定のタスク、特に協調を含む問題について、更に考察する必要がある。ここでは、(1) 適合度関数における個人としての評価と全体としての評価のトレードオフ、(2) 各ロボットに与えられたタスクの複雑さの関係、について多くの実験をおこなった。本報告では紙面の都合上、(2)の考察だけを示し、詳細は当日報告する。

### 3 シミュレーション

#### 3.1 タスクと想定

3 台のロボットによる簡単なサッカーゲームを通して、共進化による協調行動について考察する。最終的には実ロボットに適用するため、フィールドはRoboCupの中型サイズを想定し、各ロボットは一つのカメラを中心部に搭載した PWS システムの移動台車とした。ここで、2 台のロボット (r0, r1) がチームメイト (協調の関係) で、1 台のロボット (r2) が r0, r1 に対して競合の関係にある。

各ロボットの行動政策を獲得するために、遺伝的プログラミングを別々に適用する。終端セットとして、これまで強化学習によって獲得された基本行動である shoot, pass, avoid, search の 4 種類のビヘービアを準備した。関数セットには、単純な条件分岐関数 “IF\_a.is.b” を準備した。ここで、a は、ボール、二つのゴール、2 台の他ロボットの計 5 種類、b は右、中央、左、小、中、大、見えない、の 7 種類である。各ロボットを評価するために、

- グループとしての評価：得点数、失点数、得点するまでのステップ数
- 個体としての評価：ボールを蹴った回数、他のロボットとの衝突回数

の重み付き線形和を標準化した量 (0 が最善) を各個体に与えた。各集団のサイズは 80、世代交代の回数は 60、木の深さは最大で 25 と設定した。また、各ロボットの配置は、図 1 の 1 である。

#### 3.2 シミュレーション結果

予備実験として r0, r1 だけで協調行動が獲得されるかどうかを実験したところ、協調行動 (パス) は達成されず、r1 が単独でシュートする行動が獲得された (2 番目の状況)。つまり、r1 のタスクが r0 に比べて簡単なためである。そこで、静止障害物として r2 を追加して同様の実験をした結果、r0 から r1 へのパス行動が獲得された。詳細な結果についてはここでは省略する。

次に、r0, r1, r2 を同時に学習させた。図 1 は獲得されたビヘービアの一例であり、図 2 はシミュレーション結果である。図 2 から、r0, r1 の適合度は互いに同期しているのに対し、r2 の適合度は同期しているとは限らないことがわかる。今回の実験では、r2 の状況が r0, r1 よりも簡単であったため、得点の割合は (r0,r1):r2 = 3:7 であった。

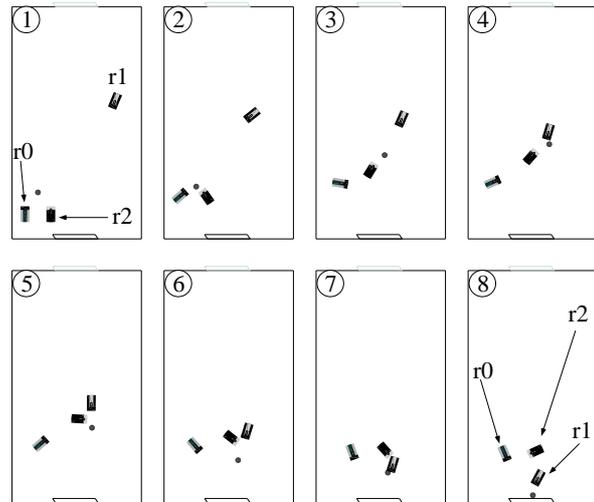
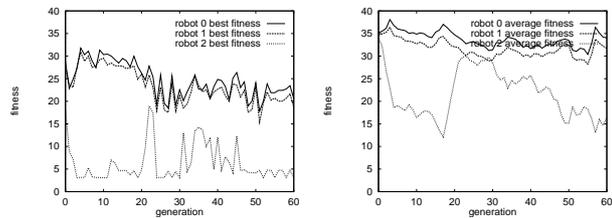


図 1: Acquired behavior



(a) best individuals

(b) average

図 2: fitness transition

### 4 まとめと今後の課題

本論文では、競合タスクだけでなく協調タスクにおいても、複数ロボットを共進化できることを、3 台のロボットによる簡単なサッカーゲームによって示した。今後は、この現象を解析して、より複雑な協調行動をロボットに獲得させるための手法について考察する必要がある。

#### 参考文献

- [1] D. Cliff and G. F. Miller. Co-evolution of pursuit and evasion II : Simulation methods and results. In *Proc. of the 4th International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats 4.*, pages 506–515, 1996.
- [2] D. Floreano and S. Nolfi. Adaptive behavior in competing co-evolving species. In *Fourth European Conference on Artificial Life (ECAL97)*, pages 378–387, 1997.
- [3] S. Luke, C. Hohn, J. Farris, G. Jackson, and J. Hendler. Co-evolving soccer softbot team coordination with genetic programming. In *Proc. of the RoboCup-97 Workshop at the 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI97)*, pages 115–118, 1997.